T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	間柱型粘弾性ダンパーを組み込んだ超高層建物の長周期地震動に対する応答性状 その2 間柱型粘弾性ダンパーと鋼材ブレースダンパーを併用した建物モデルの応答性状
Title(English)	Response properties of high-rise building with stud type viscoelastic dampers under long-period ground motion Part2: Building model with combined VE stud damper and steel brace damper
著者(和文)	太木本仁志, 佐藤大樹, 戸張涼太, 植木卓也
Authors(English)	Hitoshi Takimoto, Daiki Sato, Ryota TOBARI, Takuya Ueki
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, Ｉ, , pp. 421-424
Citation(English)	, Ｉ, , pp. 421-424
発行日 / Pub. date	2019, 3

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

2018年度日本建築学会
関東支部研究報告集 I
2019年3月

間柱型粘弾性ダンパーを組み込んだ超高層建物の長周期地震動に対する応答性状

その 2 間柱型粘弾性ダンパーと鋼材ブレースダンパーを併用した建物モデルの応答性状

構造ー振動

正会員 ○ 太木本仁志[*1]　正会員 佐藤 大樹[*2]
正会員 戸張 涼太[*3]　正会員 植木 卓也[*4]

制振構造　間柱型　粘弾性ダンパー
超高層建築物　長周期地震動

1. はじめに

本報その 1 では，間柱型粘弾性ダンパーを組み込んだ建物モデル（以下，粘弾性モデル）を用いて，長周期地震動を入力し，応答値を確認した。その結果，レベル 2 相当地震動（ART HACHI）を入力した時の粘弾性モデルの応答値について，最大層間変形角は 0.01rad 以下に収まったが，長周期地震動である OS2，OS1 に対しては 0.01rad 以下に収まらなかった。

本報その 2 では鋼材ブレースダンパーを組み込んだ建物モデルおよび間柱型粘弾性ダンパーと鋼材ブレースダンパーを併用した建物モデルを用いて，長周期地震動を入力した時の応答性状を確認する。

2. ダンパーおよび建物モデルの概要

本報では，鋼材ブレースダンパーのみの建物モデル（以下，鋼材モデル），間柱型粘弾性ダンパーと鋼材ブレースダンパーを併用した建物モデル（以下，併用モデル）を用いる。鋼材ブレースダンパー（以下，鋼材ダンパー）には降伏軸力が 2290kN である座屈拘束ブレースを用いた。Fig.1(a)~(c)に各モデルの軸組図および基準階伏図を示す。軸組図の赤線，基準階伏図の赤丸は 1 連パネルの間柱型粘弾性ダンパー（以下，粘弾性ダンパー）の設置位置を示し，軸組図の緑線，基準階伏図の緑丸は 2 連パネルの粘弾性ダンパーの設置位置を示す。また，軸組図の青線，基準階伏図の青線は鋼材ダンパーの設置位置を示す。Table1 に各モデルの粘弾性ダンパー，鋼材ダンパーの総基数とその合計，粘弾性ダンパーのダンパー量 ${}_v\alpha_{d1}$，鋼材ダンパーのダンパー量 ${}_s\alpha_{d1}$，2 つのダンパー量を足し合わせたダンパー量 α_{d1} を示す。鋼材ダンパーのダンパー量 ${}_s\alpha_{d1}$ は式(1)および式(2)に示すように 1 層の鋼材ダンパーの降伏軸力 ${}_s\hat{F}_{dyl}$ を水平方向の降伏軸力 ${}_sF_{dyl}$ に直し，それを第 1 層の鋼材ダンパーの設置基数 ${}_sN_{d1}$ を掛けたものを，建物総重量 W で除して求めた。鋼材ダンパーの履歴特性は辻・山田モデル[5]とし，β 値は 0.6 とした。

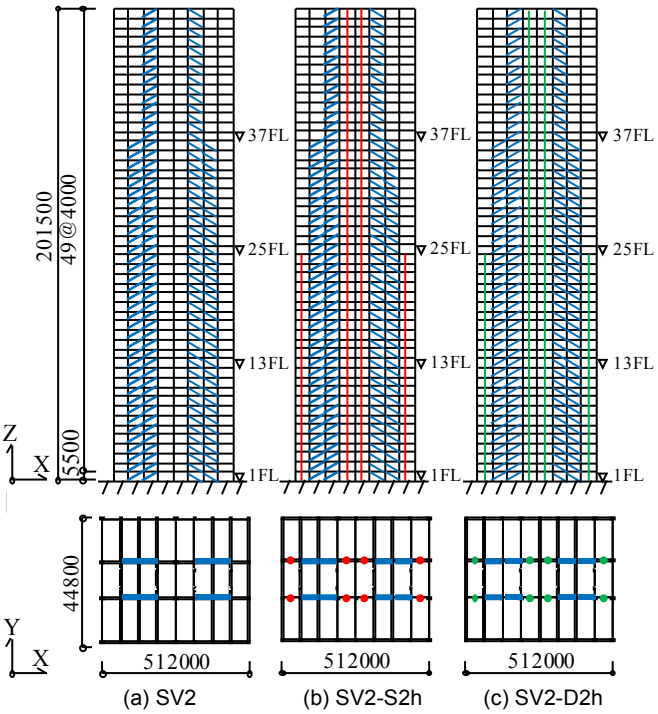


Fig.1 Elevation and Plan (System model) [unit : mm]

Table1 Model specifications

Model name		SV2	SV2-S2h	SV2-D2h
Number of dampers	Viscoelastic	0	296	296
	Steel	344	344	344
	Total	344	640	640
${}_v\alpha_{d1}$[%]		0	0.15	0.3
${}_s\alpha_{d1}$[%]		1.7	1.7	1.7
α_{d1}[%]		1.7	1.85	2

$$ {}_sF_{dyl} = {}_s\hat{F}_{dyl}\cos\theta_d \quad (1) $$

$$ {}_s\alpha_{d1} = \frac{{}_sF_{dyl} \cdot {}_sN_{d1}}{W} \quad (2) $$

θ_d :ダンパーの取り付け角度

Response properties of high-rise building with stud type viscoelastic dampers under long-period ground motion
Part2: Building model with combined VE stud damper and steel brace damper

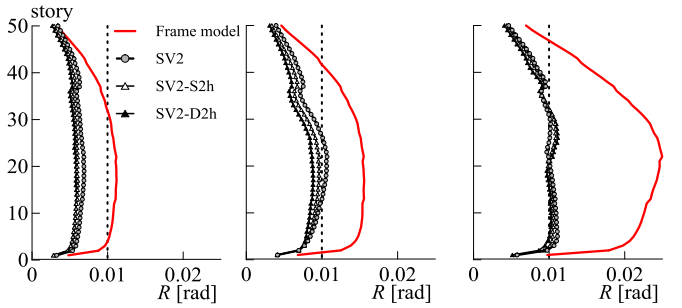
TAKIMOTO Hitoshi, SATO Daiki,
TOBARI Ryota, UEKI Takuya

3. 時刻歴応答解析

3.1 最大応答値の考察

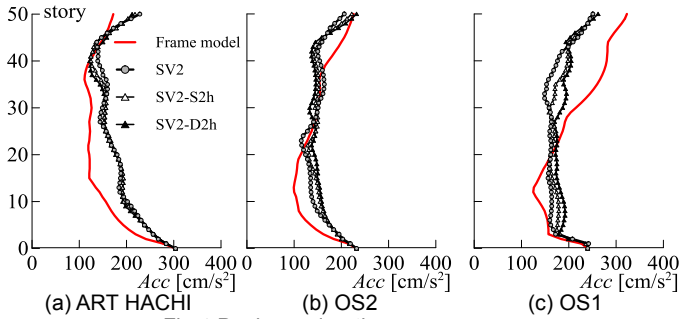
3.1.1 主架構のみ，鋼材モデルおよび併用モデルの比較

入力地震動はその 1 と同様のものを用いる。解析は全て主架構が弾性で行った。解析刻みは$\Delta t = 0.0025$s とした。主架構のみ（Frame model），鋼材モデル（SV2）および併用モデル（SV2-S2h，SV2-D2h）の応答値を比較する。Fig.3(a)~(c)に ART HACHI，OS2，OS1 を入力した時の最大層間変形角 R の高さ方向分布を，Fig.4(a)~(c)に最大応答加速度 Acc の高さ方向分布を，Fig.5(a)~(c)に最大応答層せん断力 Q_i の高さ方向分布を示す。Fig.3 より，最大層間変形角は，主架構のみと比べて，鋼材モデルと併用モデルの方が，非常に小さくなることが確認できる。また，鋼材モデルと併用モデルでは大きな違いはなかった。Fig.4 より，最大応答加速度はレベル 2 相当地震動である ART HACHI を入力した時は，主架構のみに比べ，鋼材モデルと併用モデルの方が多くの層で大きな値となった。OS1 を入力時は，主架構のみに比べ，鋼材モデルと併用モデルの方が頂部の応答が小さくなった。Fig.5 より，応答層せん断力は OS1 入力した時，鋼材モデルおよび併用モデルは主架構のみに対して大きく低減していることが確認できる。



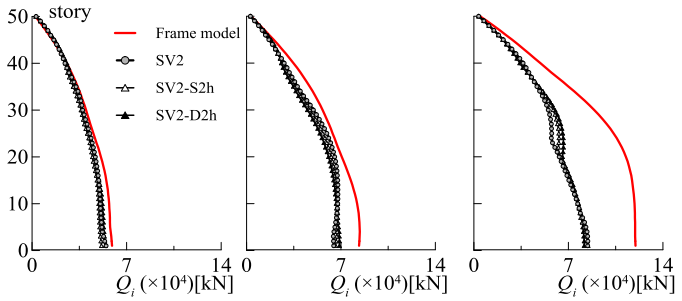
(a) ART HACHI (b) OS2 (c) OS1

Fig.3 Peak story drift angle distribution



(a) ART HACHI (b) OS2 (c) OS1

Fig.4 Peak acceleration response

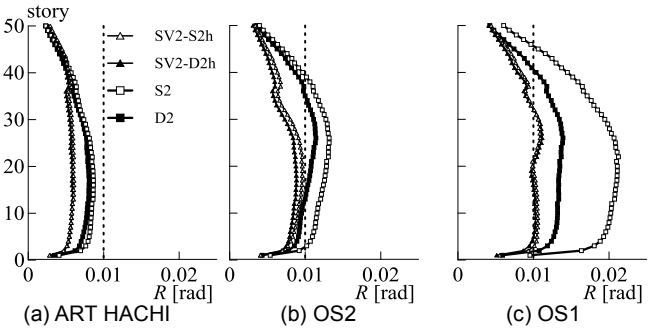


(a) ART HACHI (b) OS2 (c) OS1

Fig.5 Peak story shearing force distribution

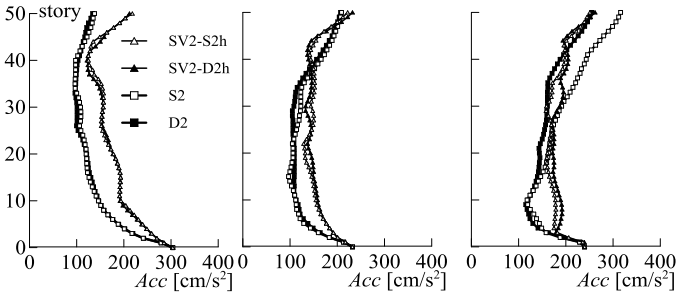
3.1.2 併用モデルと粘弾性モデルの比較

併用モデル（SV2-S2h，SV2-D2h）と粘弾性モデル（S2，D2）の応答値を比較する。Fig.6(a)~(c)に最大層間変形角 R の高さ方向分布を示す。Fig.6(a)~(c)に最大応答加速度 Acc の高さ方向分布を示す。Fig.8(a)~(c)に最大応答層せん断力 Q_i の高さ方向分布を示す。Fig.6 より，最大層間変形角はレベル 2 相当地震動である ART HACHI を入力した時は，併用モデルと粘弾性モデルでともに 0.01rad 以下となることが確認できる。長周期地震動である OS2 を入力した時は，粘弾性モデルでは 0.01rad より大きな値となるが，併用モデルでは約 0.01rad となる。OS1 では粘弾性モデルと併用モデルで差がさらに顕著となった。Fig.7 より，最大応答加速度は ART HACHI では粘弾性モデルの方が小さくなり，OS1 では併用モデルの方が小さくなった。Fig.8 より，応答層せん断力は ART HACHI および OS2 を入力した時は鋼材モデルと，併用したモデルで大きな違いは見られなかった。OS1 を入力した時は，併用モデルは粘弾性モデルである S2 に対して大きく低減している。



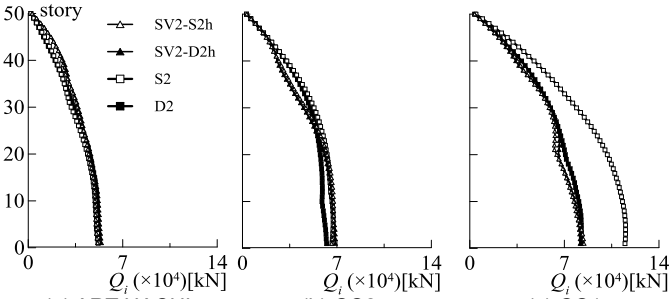
(a) ART HACHI (b) OS2 (c) OS1

Fig.6 Peak story drift angle distribution



(a) ART HACHI (b) OS2 (c) OS1

Fig.7 Peak acceleration response



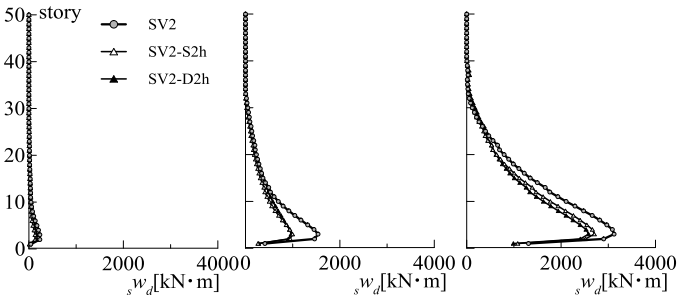
(a) ART HACHI (b) OS2 (c) OS1

Fig.8 Peak story shearing force distribution

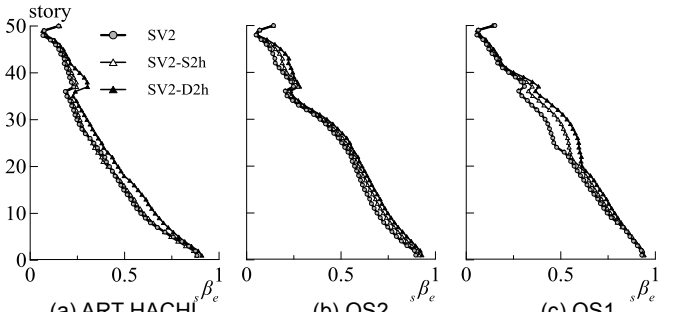
3.2 ダンパーのエネルギー吸収量（累積値）の考察

Fig.9(a)~(c)に ART HACHI，OS2，OS1 を入力した時の鋼材モデル（SV2）および併用モデル（SV2-S2h，SV2-D2h）

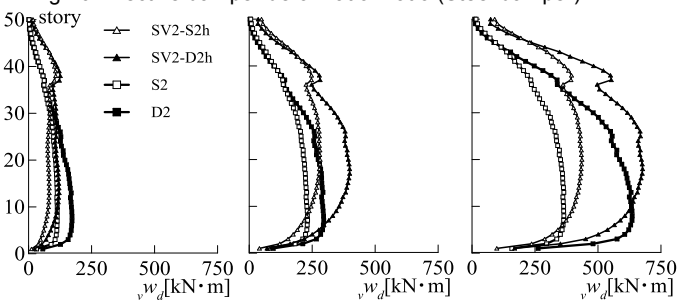
の鋼材ダンパーの 1 基あたりのエネルギー吸収量 $_sw_d$ の高さ方向分布を示す。Fig.10(a)~(c)に各モデルの鋼材ダンパーの実効変形比 $_s\beta_e$ の高さ方向分布を示す。鋼材ダンパーは YB 通りの X3, X4 の間にあるダンパーを代表して取り出す。Fig.9，Fig.10 より鋼材ダンパーのエネルギー吸収量は ART HACHI，OS2，OS1 の順に大きくなることが確認でき，SV2-S2h，SV2-D2h に比べ，SV2 の方が大きいことが分かる。また，実効変形比は SV2 に比べ，SV2-S2h，SV2-D2h の方が大きくなった。Fig.11(a)~(c)に併用モデルの粘弾性ダンパーの 1 基あたりのエネルギー吸収量 $_vw_d$ の高さ方向分布を示す。Fig.12(a)~(c)に各モデルの粘弾性ダンパーの実効変形比 $_v\beta_e$ の高さ方向分布を示す。粘弾性ダンパーは YB 通りの X4, X5 の間にあるダンパーを代表して取り出す。Fig.11 より，粘弾性ダンパーのエネルギー吸収量は ART HACHI，OS2，OS1 の順に大きくなることが確認でき，SV2-S2h よりも SV2-D2h の方が大きな値となった。また，OS2，OS1 入力時は，粘弾性モデルに比べ，併用モデルの方が粘弾性ダンパーのエネルギー吸収量が大きくなることが確認できる。Fig.12 より，粘弾性ダンパーの実効変形比は粘弾性モデルに比べて併用モデルの方が大きな値となっている。また，SV2-D2h より SV2-S2h の方が大きくなっている。粘弾性ダンパーの実効変形比および 1 基あたりのエネルギー吸収量が大きな値となる 20 層に着目する。Fig.13(a)~(c)に SV2 の 20 層の鋼材ダンパーの荷重 F_d とダンパー変形 u_d の関係を，Fig.14~ Fig.15(a)~(c)に SV2-S2h の 20 層の粘弾性ダンパーおよび鋼材ダンパーの荷重 F_d とダンパー変形 u_d の関係をそれぞれ示す。Fig.16~ Fig.17(a)~(c)に SV2-D2h の 20 層の粘弾性ダンパーおよび鋼材ダンパーの荷重 F_d とダンパー変形 u_d の関係をそれぞれ示す。なお，鋼材ダンパーの荷重および変形は水平方向での値である。また，20 層の最大層間変形 δ_{max} を点線で示す。Fig.13~ Fig.17 より，鋼材ダンパー，粘弾性ダンパーのどちらも ART HACHI，OS2，OS1 の順に変形が大きくなっていることが確認できる。併用モデルで，鋼材ダンパーの荷重-変形関係に大きな違いは見られなかった。粘弾性ダンパーについては，SV2-D2h に比べて SV2-S2h の変形の方が大きくなっている。また，ART HACHI 入力時の SV2-S2h および OS2，OS1 入力時の SV2-S2h ，SV2-D2h では 20 層の最大層間変形よりダンパーの変形の方が大きくなることが確認できる。Fig.18(a)~(c)に地震終了時の構造減衰（Damping）による吸収エネルギーと粘弾性ダンパー，鋼材ダンパーによるエネルギー配分を示す。入力した 3 波全てで，SV2-S2h より SV2-D2h の方がダンパーのエネルギー配分が大きくなった。鋼材モデルと併用モデルのエネルギー配分を比較すると，鋼材モデルで鋼材ダンパーが負担しているエネルギーの一部を，併用モデルでは粘弾性ダンパーが負担していることが分かる。



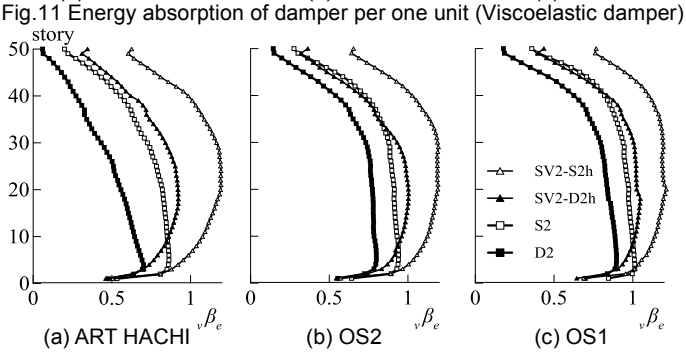
(a) ART HACHI (b) OS2 (c) OS1
Fig.9 Energy absorption of damper per one unit (Steel damper)



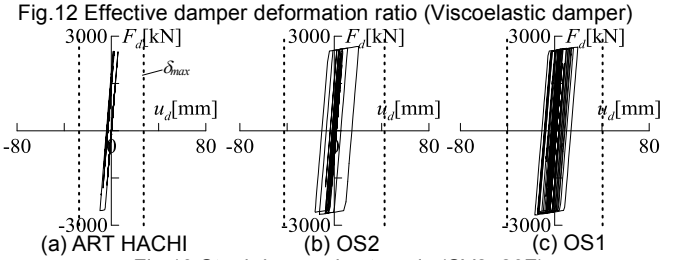
(a) ART HACHI (b) OS2 (c) OS1
Fig.10 Effective damper deformation ratio (Steel damper)



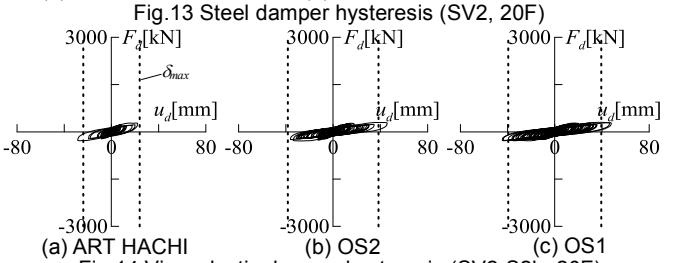
(a) ART HACHI (b) OS2 (c) OS1
Fig.11 Energy absorption of damper per one unit (Viscoelastic damper)



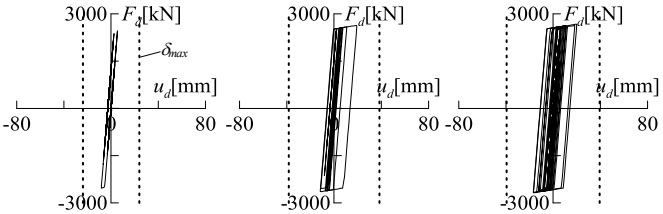
(a) ART HACHI (b) OS2 (c) OS1
Fig.12 Effective damper deformation ratio (Viscoelastic damper)



(a) ART HACHI (b) OS2 (c) OS1
Fig.13 Steel damper hysteresis (SV2, 20F)

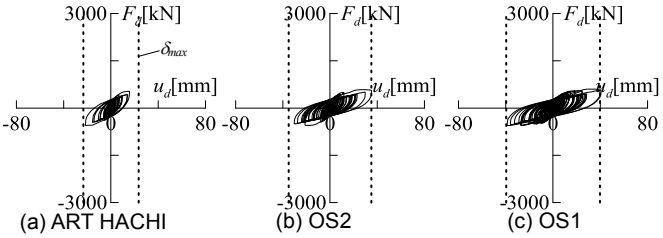


(a) ART HACHI (b) OS2 (c) OS1
Fig.14 Viscoelastic damper hysteresis (SV2-S2h, 20F)



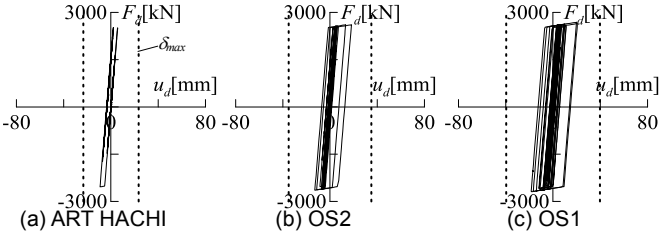
(a) ART HACHI (b) OS2 (c) OS1

Fig.15 Steel damper hysteresis (SV2-S2h, 20F)



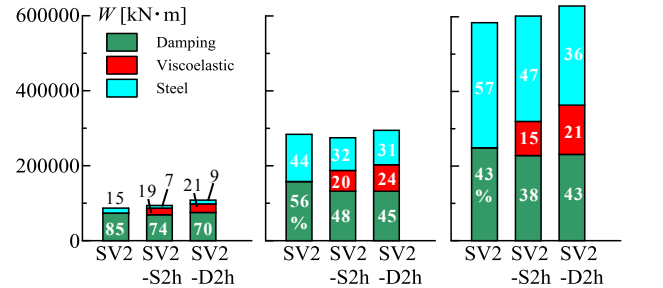
(a) ART HACHI (b) OS2 (c) OS1

Fig.16 Viscoelastic damper hysteresis (SV2-D2h, 20F)



(a) ART HACHI (b) OS2 (c) OS1

Fig.17 Steel damper hysteresis (SV2-D2h, 20F)



(a) ART HACHI (b) OS2 (c) OS1

Fig.18 Energy distribution

4. まとめ

鋼材ブレースダンパーを組み込んだ鋼材モデルおよび間柱型粘弾性ダンパーと鋼材ブレースダンパーを併用した併用モデルを用いて，長周期地震動を入力した時の応答性状を確認した。得られた知見を以下に示す。

・最大層間変形角について

鋼材モデルと併用モデルの方が，主架構のみと比べて最大層間変形角は非常に小さくなった。また，鋼材モデルと併用モデルを比較すると大きな違いはなかった。粘弾性モデルと併用モデルを比較すると，レベル 2 相当地震動である ART HACHI を入力した時は，ともに 0.01rad 以下となった。長周期地震動である OS2 を入力した時は，粘弾性モデルでは 0.01rad より大きな値となったが，併用モデルでは約 0.01rad となった。OS1 では粘弾性モデルと併用モデルで差がさらに顕著となった。

・最大応答加速度について

主架構のみに比べ，鋼材モデルと併用モデルの方が ART HACHI を入力した時の最大応答加速度は多くの層で大きな値となった。OS1 を入力した時は，主架構のみに比べ，鋼材モデルと併用モデルの方が頂部の応答が小さくなった。粘弾性モデルと併用モデルを比較すると，ART HACHI では粘弾性モデルの方が小さくなり，OS1 では併用モデルの方が小さくなった。鋼材モデルと，併用モデルを比較すると，大きな違いは見られなかった。

・ダンパーのエネルギー吸収量，実効変形比について

鋼材ダンパーのエネルギー吸収量は ART HACHI，OS2，OS1 の順に大きくなることが確認でき，SV2-S2h, SV2-D2h に比べ，SV2 の方が大きくなった。また，実効変形比は SV2 に比べ，SV2-S2h，SV2-D2h の方が大きくなった。粘弾性ダンパーのエネルギー吸収量は ART HACHI，OS2，OS1 の順に大きくなることが確認でき，SV2-S2h よりも SV2-D2h の方が大きな値となった。また，OS2，OS1 入力時は，粘弾性モデルに比べ，併用モデルの方が，粘弾性ダンパーのエネルギー吸収量が大きくなった。実効変形比は粘弾性モデルに比べて併用モデルの方が大きな値となった。また，SV2-D2h より，SV2-S2h の方が大きくなった。

・地震終了時のエネルギーについて

入力した 3 波全てで，SV2-S2h より SV2-D2h の方がダンパーのエネルギー配分が大きくなった。鋼材モデルと併用モデルのエネルギー配分を比較すると，鋼材モデルで鋼材ダンパーが負担しているエネルギーの一部を，併用モデルでは粘弾性ダンパーが負担していることが確認できた。

謝辞

本報告は，JFE シビル株式会社，JFE スチール株式会社，東京工業大学佐藤研究室の共同研究の成果の一部をまとめたものです。JFE シビル株式会社の宮川和明氏，吉永光寿氏には本報を執筆する上で貴重なご意見を賜りました。ここに記して感謝の意を表します。また，本研究の一部は，JST 産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラムによるものです。

参考文献

1) 木村暢志，北村春幸，佐藤利昭，木村雄一，青野英志，山本　優：東海・東南海・南海単独地震の応答に基づく三連動地震による超高層建物の最大値と累積値の応答評価法，日本建築学会構造系論文集，第 712 号，pp.873-883，2015.6

2) 臼田雄作，佐藤大樹，北村春幸，松田頼征，木村雄一，山本　優，木村暢志：単独地震の応答に基づく連動地震に対する超高層制振建物の応答推定手法　-南海トラフ沿いにおける東海・東南海・南海三連動地震を対象として-，日本建築学会構造系論文集，第 747 号，pp.687-697，　2018.5

3) 森隆浩，櫻井　祐，加藤亨二，戸張涼太，吉永光寿，金城陽介：高減衰ゴムを用いた間柱型粘弾性ダンパー　~その 2　時刻歴応答解析用履歴モデル~，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.597-598，　2017.7

4) BRIDGESTONE：建築免震用積層ゴム製品仕様一覧，p.8，　2018.1

5) 山田　稔，辻　文三：鋼材の応力―歪関係に関する研究（Ⅰ:等方＋移動硬化モデル），日本建築学会論文報告集，第 270 号，pp.17-22，　1978.8

*1　学生会員　東京工業大学　大学院生
*2　東京工業大学　未来産業技術研究所　准教授・博士（工学）
*3　JFE シビル 株式会社
*4　JFE スチール 株式会社

*1　Graduate Student, Tokyo Institute of Technology
*2　Associate Professor, FIRST, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng
*3　JFE Civil Engineering & Construction Corporation
*4　JFE Steel Corporation